

Как видно из рис.5, использование водорода при прогреве двигателя на режиме XX позволяет снизить объёмное содержание CH в 2 и более раз, а CO - в 7 раз, по сравнению со штатными значениями.

По результатам работы можно сделать следующий вывод: добавка водорода к основному топливу позволяет обеспечить устойчивую работу двигателя на режимах пуска и прогрева при $\alpha = 1$, что приводит к заметному снижению выбросов CH и CO .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хиллиард Д, Спрингер Дж. Топливная экономичность автомобилей с бензиновыми двигателями. – М.: Машиностроение, 1988. – 459с.
2. Exhaust Gas Igniton. / Eade D., Grley R., Rutter D. // Automotive Engineering. 1996. April. – С.70-73.
3. Мищенко А.И. Применение водорода для автомобильных двигателей. – Киев.: Наука думка, 1984. – 265с.
4. Русаков М.М. Пределы стабильного сгорания обеднённых бензовоздушных смесей в ДВС при различных способах интенсификации. Сб. трудов XI симпозиум по горению и взрыву. Черногловка, 1996. - с.108-119.
5. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение. / Гамбург Д.В., Семенов В.П., Дубовкин Н.Ф., Смирнова Л.Н. // Справ. изд. – М.: Химия, 1989. – 546с.

УДК 621.455 – 63.03.0

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ГОРЕНИЯ В КАМЕРАХ СГОРАНИЯ С ВЫНОСНЫМИ ЖАРОВЫМИ ТРУБАМИ ДВИГАТЕЛЕЙ ГТУ

Савченко В.П.

ОАО СНТК им. Н.Д. Кузнецова, г. Самара

При повышении параметров рабочего цикла ГТУ особо остро встают задачи повышения энергетической эффективности и надёжности эксплуатации в течение длительного ресурса. При этом возникают задачи не только повышения эффективности сгорания топлива, но и обеспечения многих других характеристик и, особенно, устойчивости горения по

отношению к возникающим низкочастотным (НЧ) и высокочастотным (ВЧ) колебаниям давления в камере сгорания.

В работе [1] приведены результаты исследований по влиянию на неустойчивость интенсификации турбулентного и кинетического горения. Причём задача обеспечения высокой эффективности и устойчивости горения решена путём оптимизации двух противоположно действующих процессов: интенсификации и растягивания горения по длине камеры сгорания, снижение эмиссии оксидов азота NO_x в двухзонных КС с выносными жаровыми трубами (ВЖТ) двигателя НК-37 достигнуто путём высокой степени гомогенизации смеси [2,3].

Указанная выше задача решалась путём формирования газодинамической структуры потока в закрученных струях горелок основного контура (протяжённости зон обратных токов в приосевой части струи

$\bar{L}_{зот} = \frac{L_{зот}}{d_c}$, дальнобойности струй $\bar{L}_{сгр} = \frac{L_{сгр}}{d_c}$ и факелов $\bar{L}_{фак} = \frac{L_{фак}}{d_c}$, образованных на этих струях) и повышением огневой поддержки дежурной зоной КС и т.д.

Протяжённость горения в двухзонной КС ГТУ связывалась с длиной $L_{фак}$, зависящего от кинетических и диффузионных факторов:

$$L_{фак} = f_1 (\Phi_{\partial}; \Phi_{кин}), \quad (1)$$

или в параметрическом виде:

$$L_{фак} = f_2 \left(\frac{L_k}{H}, \bar{L}_{сгр}, W, \bar{W}_{оз}, D_{m2}, P_k, T_k, \alpha_{оз}, q_{оз}, M \right), \quad (2)$$

где $\frac{L_k}{H}$ - отношение длины КС к шаговому расстоянию между горелками, входящее в критерий Херша [1] и отражающее влияние числа горелок, W , $\bar{W}_{оз}$ - скорость истечения гомогенной смеси и профиль скорости в закрученных струях основной зоны; D_{m2} - турбулизация потока от

вторичной подачи воздуха, P_k - давление в КС, T_k - температура воздуха на входе в КС, α_{2k} - коэффициент избытка воздуха в основной зоне КС, $q_{\partial z}$ - тепловой эффект от огневой поддержки горения в основной зоне дежурной зоной, M - масштабный параметр.

В соответствии с полученным выражением для времени запаздывания [1]:

$$\tau_z = \frac{L_{\text{фак}}}{F_{0g} \cdot q_n \cdot W_p} + \frac{L_{\text{фак}}}{C_k},$$

где F_{0G} - аналог диффузионного критерия Фурье, q_n - тепловой эффект химической реакции. Изменение длины факела может изменять и диапазон возникающих частот акустических колебаний в КС. При увеличении числа горелок (увеличение $\frac{L_k}{H}$), уменьшается их характерный размер, а, следовательно, и длина факела. Поэтому, при уменьшении времени запаздывания происходит возбуждение более высоких частот акустических колебаний.

При $\frac{L_k}{H} = \text{const}$ уменьшение $\frac{L_k}{H}$ достигается за счёт формирования профиля скорости $\overline{W_{\partial z}}$ закрученной струи основного контура с меньшей дальнобойностью $\overline{L_{\text{стр}}}$ или за счёт интенсификации кинетического горения, обусловленной изменением параметров, указанные в зависимости (2).

Как показано в работах [4,5] в традиционных однозонных КС ГТУ увеличение числа горелок и уменьшение $L_{\text{фак}}$ приводит к возбуждению более высоких частот пульсаций давления с меньшей амплитудой. Эта тенденция подтвердилась и по результатам сравнительных испытаний кольцевой двухзонной КС НК - 36СТ и КС с ВЖТ двигателей и НК - 37.

При испытаниях двухзонной кольцевой КС с увеличенным числом горелок возникали ВЧ колебания с частотой 250 Гц, которые удалось устранить путём уменьшения протяжённости зон обратных токов в при-

осевой части струи от $\bar{L}_{зот} \approx 2.5$ до $\bar{L}_{зот} = 1$, но при возрастании эмиссии окислов углерода CO (рис. 1).

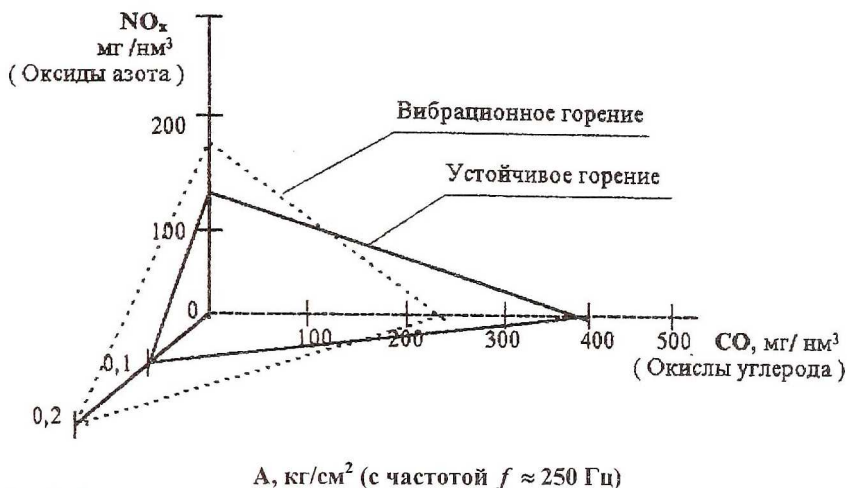
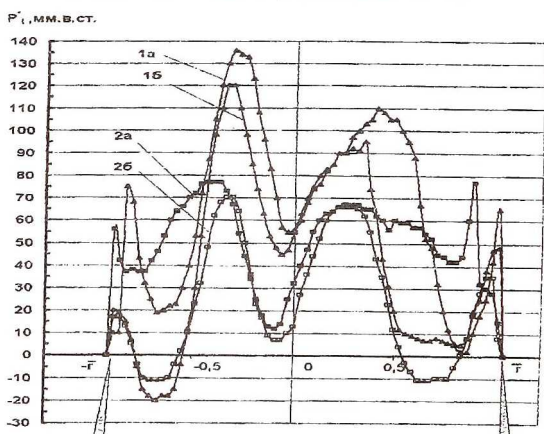
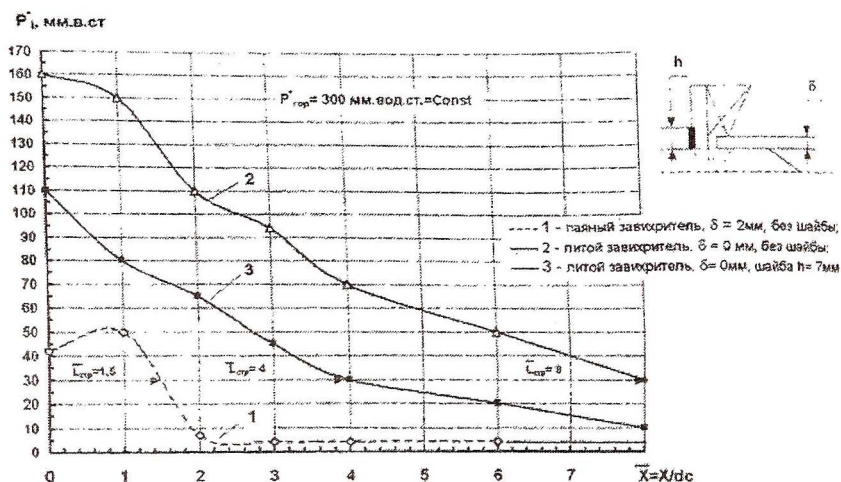


Рис.1. Влияние протяжённости зон обратных токов в приосевой части струи горелок основного контура КС на характеристики горения 1- $L_{зот} = 2,5$, ВЧ неустойчивость горения, $\bar{L}_{зот} = 1$ устойчивое горение, ВЧ неустойчивость горения

При испытаниях КС с двенадцатью ВЖТ на том же двигателе проявилась тенденция возбуждения более низких частот ~ 50 Гц. Поэтому возникла необходимость проведения газодинамических исследований ВЖТ.

Предполагалось, что при соударении струй горелок основного контура внутри ВЖТ происходит дополнительная турбулизация потока и интенсификация горения. Но, как показали газодинамические исследования, при соударении струй со слабой закруткой потока (с большой дальностью струй $\bar{L}_{cmp} = \frac{L_{cmp}}{d_c} = 7$ [1] см. кривую 2 на рис.2)

возникают «забросы» давления по оси ВЖТ (см. кривые 1а и 1б на рис.3). Последние определяют растягивание горения по длине КС и появление «забросов» температуры против каждой ВЖТ на выходе из КС, что отражается характером радиальной неравномерности температур на выходе из КС (см. кривую 1 на рис.4).



Было показано, что при уменьшении дальности струй горелок основного контура от $\bar{L}_{стр} = 8$ до $\bar{L}_{стр} = 4$ (рис.2) происходит уменьшение неравномерности полей давления на выходе из ВЖТ (см кривые 2а и 2б на рис.3) и

уменьшение забросов температуры против каждой ВЖТ. При дальнейшем уменьшении дальности струй до $\bar{L}_{стр} = 1.5$ (см. кривую 1 на рис.2), устраняются забросы температуры газа

против каждой ВЖТ и происходит выравнивание радиальной эпюры температур на выходе из КС (см. кривую 2 на рис.4).

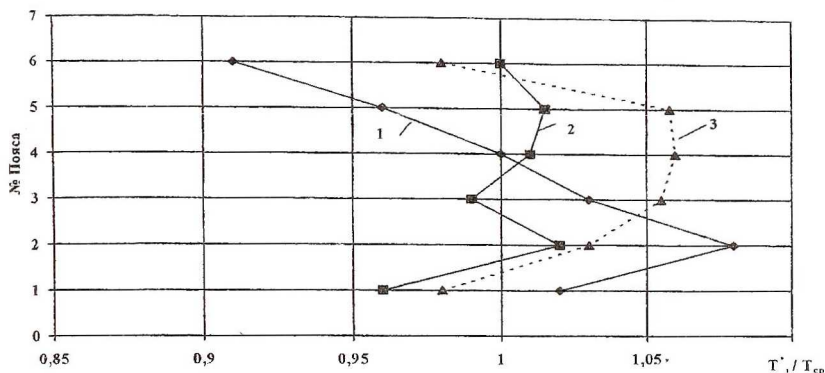


Рис. 4. Влияние уменьшения дальности струй горелок основного контура на выравнивание радиальной неравномерности температурного поля на выходе из КС: 1 - $L_{cpr} = 7$, 2 - $L_{cpr} = 1,5$, 3 - допуск по ТУ

При испытании КС с ВЖТ на двигателе удаётся устранить НЧ колебания повышением расхода топлива в дежурную зону КС Q_1 (рис.5), но при этом происходит рост NO_x из-за того, что дежурная зона КС работает в диффузионном режиме с раздельной подачей в КС воздуха и природного газа.

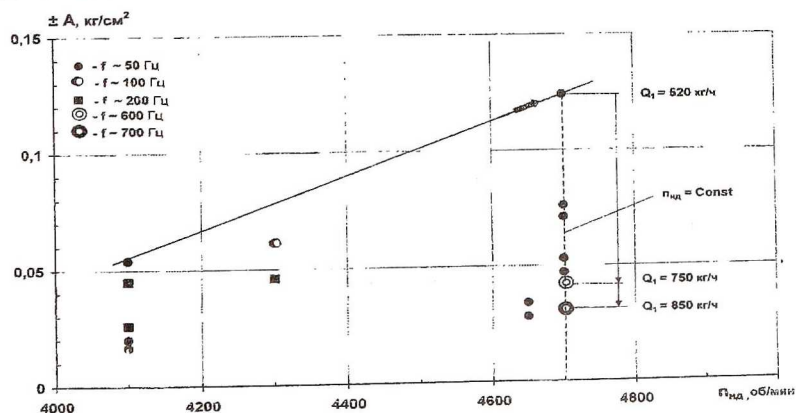
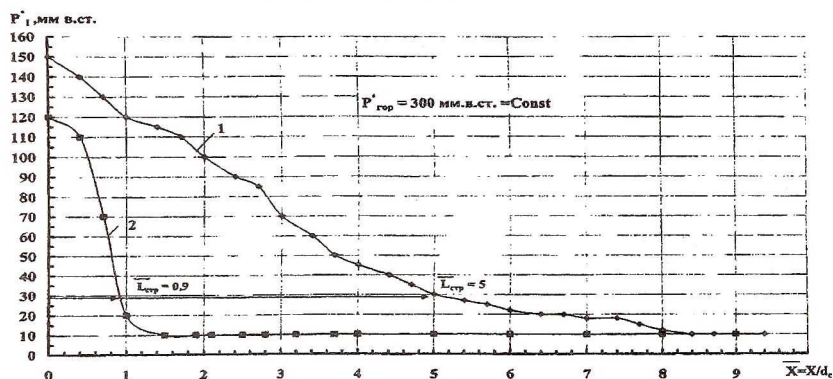


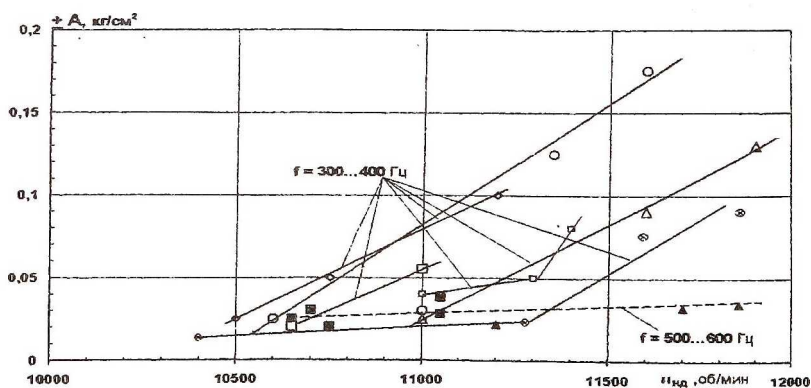
Рис. 5. Влияние увеличения расхода топлива в дежурную зону КС с ВЖТ двигателя НК - 37 на снижение амплитуды НЧ колебаний с частотой $f \approx 50$ Гц

В связи с этим для устранения НЧ колебаний сформирована структура потока в горелках основной зоны с минимальной дальностью $\overline{L}_{стр} = 1.5$, (см. кривую 1 на рис.2).

Возможность перехода на более высокие частоты пульсаций давления с малой амплитудой пульсаций давления при уменьшении дальности струй горелок основной зоны подтверждена при испытании КС с ВЖТ двигателя НК-38 СТ (см.рис.6).



а



б

Рис. 6. Влияние уменьшения дальности струй горелок основного контура на возникновение более высоких частот ВЧ колебаний с меньшим уровнем амплитуды колебаний в двухзонной КС с ВЖТ а) дальность струй, б) амплитуда и частота ВЧ колебаний в КС

Видно, что при уменьшении $\bar{L}_{стр}$ от 5 до 0,9 (рис.6а) происходит повышение частоты пульсаций давления от 300...400 Гц до 500...600 Гц и снижение амплитуды колебаний давления КС (рис. 6б).

Более полную оптимизацию характеристик горения, включая эмиссию NO_x и CO , удалось достичь путём выравнивания полей концентрации [3], формирования оптимального профиля скорости в струях горелок основного контура, при увеличении числа горелок в КС с ВЖТ двигателя НК-37 ($\frac{L_r}{H} = 12$, [1]).

Уменьшение длины факела горелки основного контура за счёт снижения скорости истечения гомогенной смеси из горелок основного контура и обогащения состава смеси при открытии перепуска воздуха в конце КС снижает уровень амплитуды пульсаций давления с частотой 200 Гц и 300 Гц (рис.7).

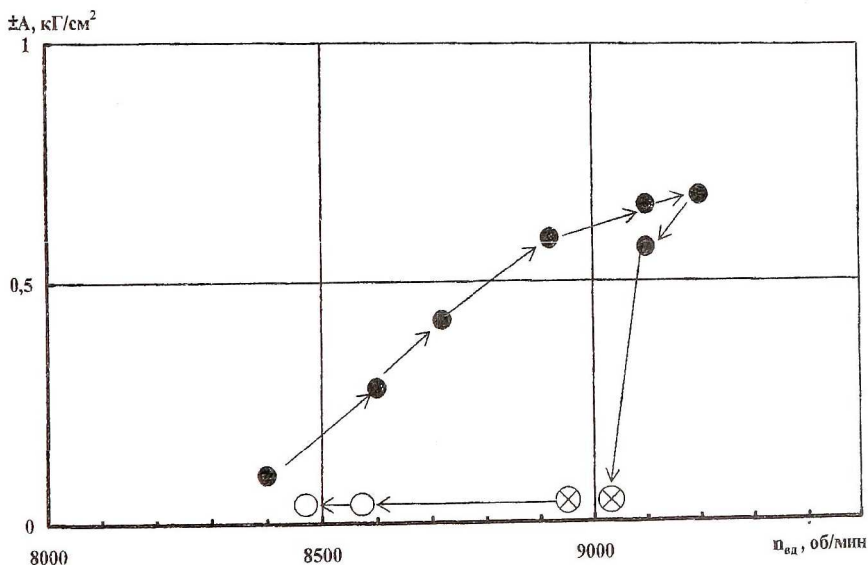


Рис. 7. Влияние перепуска воздуха в конце КС с ВЖТ на снижение амплитуды колебаний и повышение частоты пульсаций давления ● — перепуск закрыт $f_k = 220$ Гц, ○ — перепуск открыт $f_k = 220$ Гц, ⊗ — перепуск открыт $f_k = 500...700$ Гц

Влияние снижения скорости истечения гомогенной смеси в КС на повышение устойчивости горения ранее показана в работах Дорошенко

В. Е., Фурлетова В.И. (ЦИАМ.) при испытании модельных КС, работающих на гомогенной смеси.

Интенсификация процесса турбулентного горения в КС с ВЖТ за счёт увеличения числа горелок основной зоны, уменьшения дальности этих струй позволяет обеспечить «индивидуальность» горения каждой в отдельности горелок и тем самым организовать процесс горения в КС с ВЖТ как в многогорелочных КС. Это также позволяет ослабить проявление гармоник, связанной с числом ВЖТ, неблагоприятно сказывающейся на работе турбины двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савченко В.П. Обобщение опыта организации турбулентного горения в камерах сгорания аэрокосмического и энергетического назначения. // Тез. докладов междунаро. научн. – техн. конф. памяти В.Е. Дорошенко, Самара, 9 -10 октября 2002, С. 129-134.
2. Гриценко Е.А., Цыбизов Ю.И. Методология создания малоэмиссионных камер сгорания авиационных и конвертируемых двигателей семейства НК. // Актуальные проблемы авиационных и аэрокосмических систем. 1999, Вып.2 (8).-С.
3. Постников А.М. Снижение оксидов азота в выхлопных газах ГТУ. - Самара: Издательство Самарского научного центра РАН. – 2002 – 286 с.
4. Сударев А.В., Маев В.А., Камеры сгорания газотурбинных установок. - Л.: Недра, 1990 – 280с.
5. Дубровский О.В. Исследование низкочастотных пульсаций в газотурбинных камерах. // Теплоэнергетика. 1961. № 8. –С.46-57.

УДК 621.438:621.45.03.0

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ДОВОДКИ КАМЕР СГОРАНИЯ

Савченко В.П., Лавров В.Н., Маркушин А.Н., Цыбизов Ю.И.

ОАО СНТК им. Н.Д. Кузнецова, г. Самара

Несмотря на отсутствие завершённой теории горения, необходимо отметить, что в последнее время всё большее значение при проектировании камеры сгорания (КС) приобретают расчётные методы, основанные на численном решении уравнений гидромеханики. Однако, используя